



DESAIN DAN SIMULASI *CASCADE INTERLEAVED BOOST CONVERTER* MENGUNAKAN KENDALI *DYNAMIC EVOLUTION CONTROL*

Dwi Feriyanto¹, Ubaidah², Ahmadz Fauzan³

^{1,2} Dosen Program Studi Teknik Elektronika

³ Mahasiswa Program Studi Teknik Elektronika

Universitas Aisyah Pringsewu

Email: feriyantodwi@gmail.com

Abstrak: DC-DC *Converter* adalah suatu rangkaian elektronika daya yang mengubah tegangan DC ke tegangan DC lainnya dengan tegangan keluaran yang berbeda. Salah satu jenis dari elektronika daya tersebut adalah *boost converter*. *Boost converter* merupakan salah satu peralatan yang banyak digunakan dalam aplikasi DC-DC untuk menaikkan tegangan dari tegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi. Namun, *boost converter* konvensional mempunyai beberapa kekurangan, yaitu mempunyai *ripple* arus masukan dan *ripple* arus keluaran yang dapat mengurangi efisiensi dari *boost converter* dan tegangan keluaran pada *boost converter* tidak dapat mencapai tiga kali atau lebih tegangan masukannya. Karena keterbatasan dalam menaikkan tegangan ke level tegangan yang sangat tinggi, salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menghubungkan rangkaian *cascade*. Kemudian untuk mengurangi *ripple* keluaran dan menaikkan nilai tegangan keluaran, *boost converter* perlu dihubungkan dengan rangkaian *interleaved*. Setelah *boost converter* dihubungkan dengan rangkaian *interleaved* disisi masukan dan rangkaian *cascade* disisi keluaran menghasilkan tegangan keluaran yang tinggi jika dibandingkan dengan *boost converter* konvensional dan dapat mengurangi *ripple* arus keluaran. *Dynamic Evolution Control* sendiri merupakan salah satu teknik kontrol baru untuk mengontrol rangkaian elektronika daya yang dalam hal ini di aplikasikan pada *cascade interleaved boost converter*. *Dynamic evolution control* merupakan turunan dari bentuk dasar teori kendali yaitu kendali umpan balik. Dimana ketika ada perbedaan antara keluaran dengan masukan yang dijadikan sebagai referensi pada suatu sistem kendali, maka dari itu keadaan *error* dapat berkurang atau dihilangkan dalam waktu yang singkat. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, penggunaan *cascade interleaved boost converter* menggunakan kendali *dynamic evolution control* memiliki efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan *boost converter* konvensional. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan software simulink MATLAB.

Kata Kunci: *Boost Converter, Cascade, Interleaved, Dynamic Evolution Control*

I. PENDAHULUAN

Boost converter banyak digunakan secara luas dalam aplikasi elektronika daya. Converter tipe ini digunakan untuk menaikkan tegangan dari tegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi.[1] Karena *gain* tegangan dari DC-DC boost converter terbatas, maka tegangan output yang dihasilkan tidak bisa mencapai tiga kali atau empat kali tegangan input. Untuk mengatasi masalah ini, maka boost converter dihubungkan dengan rangkaian cascade.[2]

Dalam aplikasi daya yang nilainya tinggi, biasanya boost converter terhubung secara interleaved untuk menaikkan arus output dan mengurangi ripple arus input, [3], [4], pada paper ini digunakan rangkaian interleaved agar ripple pada arus input dapat dikurangi.

Salah satu teknik kontrol baru yang banyak diterapkan pada converter elektronika daya adalah *dynamic evolution control*. *Dynamic evolution control* telah diterapkan pada beberapa penelitian – penelitian sebelumnya yaitu untuk kontrol synchronous buck DC - DC converter, fuel cell DC –DC converter dan bidirectional DC – DC converter. Pada penelitian kali ini teknik *dynamic evolution control* akan diterapkan pada cascade interleaved boost converter. Pemilihan teknik *dynamic evolution control* dibandingkan teknik kontrol lain disebabkan karena *dynamic evolution control* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan teknik kontrol lain yaitu perhitungan yang sederhana, memiliki respon yang cepat dan

juga dapat mengontrol banyak parameter dari converter [5] secara bersamaan seperti tegangan keluaran, tegangan masukan, tegangan referensi dan arus beban. [6]. Oleh karena itu, cascade interleaved boost converter menggunakan teknik DEC diharapkan dapat menghasilkan tegangan output yang nilainya tiga kali atau empat kali tegangan input.

II. DYNAMIC EVOLUTION CONTROL

Dynamic evolution control (DEC) merupakan salah satu teknik kontrol baru untuk mengontrol rangkaian elektronika daya yang dalam pengembangannya telah banyak diaplikasikan pada beberapa penelitian seperti *dynamic evolution control* untuk konverter synchronous buck DC-DC [5], *dynamic evolution control* untuk konverter fuel cell DC-DC[7], *dynamic evolution control* pada *bidirectional* konverter DC-DC untuk penghubung penyimpanan energi ultrakapasitor dengan sistem kendaraan listrik fuel cell [8], dan beberapa penelitian lainnya.

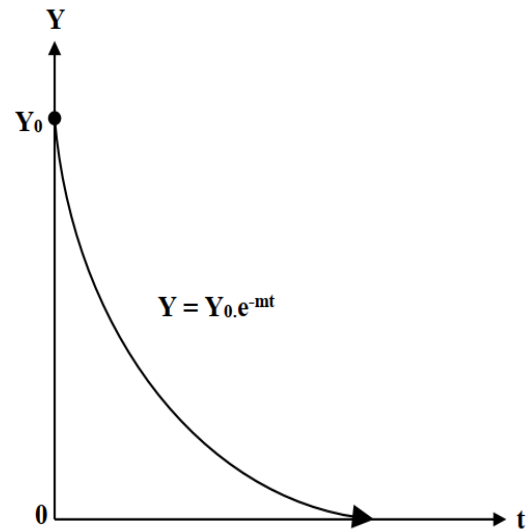
Dynamic evolution control merupakan turunan dari bentuk dasar teori kendali, terutama kendali umpan balik. Dimana ketika ada perbedaan antara keluaran dengan masukan yang dijadikan sebagai referensi pada suatu sistem kendali, maka itu menunjukkan keadaan error dan harus dihilangkan dalam waktu yang singkat. Sesuai dengan teori tersebut, maka pada *dynamic evolution control*, keadaan error dipaksa untuk menuju nol dengan mengikuti kurva tertentu yang berbentuk seperti jalur yang disebut

jalur evolusi. Jalur evolusi ini membuat error akan terus berkurang sejalan dengan bertambahnya waktu. Mendesain *dynamic evolution control* pada suatu konverter harus terlebih dahulu memperhatikan langkah-langkah berikut ini: [5]

1. Melakukan pemilihan jalur evolusi (*Evolution Path*)
2. Membuat fungsi *dynamic evolution*
3. Menganalisis sistem konverter yang digunakan
4. Memasukkan sistem konverter ke persamaan *dynamic evolution*
5. Menghasilkan *duty cycle* PWM yang telah terkontrol

a. Fungsi *Dynamic Evolution*[5]

Tujuan dari *dynamic evolution control* adalah untuk mengontrol karakteristik dinamis dari suatu sistem sehingga dapat beroperasi dengan keadaan error-nya sebesar nol ($Y = 0$). Dalam sistem *dynamic evolution control*, karakteristik dinamis dari suatu sistem converter dipaksa untuk mengikuti jalur evolusinya. Jalur evolusi ini harus turun menjadi nol seiring dengan bertambahnya waktu dan juga kecepatan respon penurunan nilai pada jalur evolusi harus sebanding dengan perubahan nilai m . Jika Y dijadikan sebagai fungsi error dari suatu konverter dan Y dipaksa mengikuti jalur evolusi fungsi eksponensial seperti Gambar 1 sehingga *dynamic evolution* dari fungsi error (Y) dengan nilai error awal adalah Y_0 maka terlihat fungsi error (Y) dipaksa untuk turun menuju nol secara eksponensial bersamaan dengan perubahan nilai m .



Gambar 1 Jalur Evolusi Eksponensial

Dari grafik di atas terlihat persamaan yang terbentuk adalah:

$$Y = Y_0 e^{-mt}$$

(1)

Dimana :

Y adalah besar nilai error

Y_0 adalah nilai awal Y

m adalah nilai yang sebanding dengan kecepatan respon penurunan nilai awal Y

Persamaan ini dapat digunakan untuk nilai error awal positif maupun negatif karena dengan mengikuti persamaan ini nilai error akan selalu menuju nol.

Dari persamaan (1) turunan dari Y adalah:

$$\frac{dY}{dt} = -m \cdot Y_0 \cdot e^{-mt}$$

(2)

Sehingga,

$$\frac{dY}{dt} + m.Y = 0, m > 0$$

(3)

Dari hasil tersebut persamaan *dynamic evolution* dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\frac{dY}{dt} + m.Y = 0, m > 0$$

(4)

Dimana m merupakan salah satu parameter kecepatan respon penurunan jalur evolusi. Persamaan *dynamic evolution* (4) dapat memaksa error (Y) pada sistem untuk turun sampai ke nilai nol secara eksponensial dengan kecepatan repon penurunan nilai Y sebanding dengan peningkatan nilai m .

b. Persamaan Sintesis *duty cycle*

Formula sintesis *duty cycle* didefinisikan dengan fungsi *state error* (Y). Dalam penelitian ini fungsi *error state* adalah fungsi linear dari fungsi kesalahan tegangan (error).

$$Y = k.v_{err}$$

(5)

Dimana k adalah koefisien positif, dan v_{err} adalah tegangan error.

$$v_{err} = V_{ref} - v_0$$

(6)

Turunan dari persamaan (6) adalah sebagai berikut:

$$\frac{dY}{dt} = k.\frac{dv_{err}}{dt}$$

(7)

Substitusi persamaan (5) dan (6) ke persamaan (3), sehingga

$$k.\frac{dv_{err}}{dt} + m.k.v_{err}$$

(8)

$$k\frac{dv_{err}}{dt} + (m.k - 1)v_{err} + V_{ref} = v_0$$

(9)

Dengan mensubstitusi tegangan output dari converter V_0 maka didapatkan

$$k\frac{dv_{err}}{dt} + (m.k - 1)v_{err} + L\frac{di_L}{dt} + V_{ref} = v_{in} + v_0\alpha - L\frac{di_L}{dt}$$

(10)

Dari persamaan (10) didapatkan nilai α (*duty cycle*) adalah

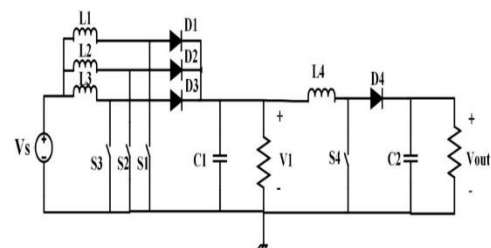
$$\alpha =$$

$$\frac{k\frac{dv_{err}}{dt} + (mk-1)v_{err} + L\frac{di_L}{dt} + V_{ref} - v_{in}}{v_0}$$

(20)

III. PRINSIP OPERASI DARI CASCADE INTERLEAVED BOOST CONVERTER

Diagram skematik dari penelitian *cascade interleaved boost converter* menggunakan kendali DEC terdapat pada Gambar 2.

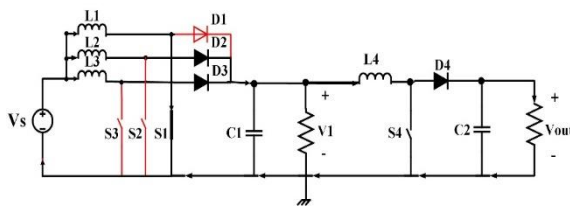


Gambar 2. Skematik *cascade interleaved boost converter*

Boost converters dapat beroperasi dalam dua mode, DCM dan CCM. Operasi mode CCM dapat diasumsikan pada perhitungan sederhana dengan nilai induktor $L_1=L_2=L_3=L$, dan nilai $D_1=D_2=D_3=D$. Mode CCM pada operasi converter adalah sebagai berikut:

a. Stage a:

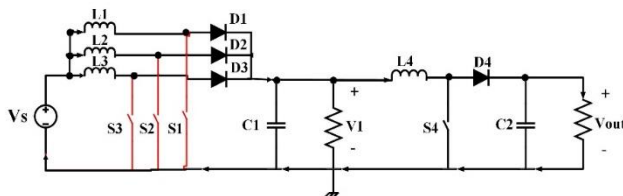
Pada waktu t_0 , S_1 tertutup dan S_2, S_3, S_4 terbuka, I_{L1} mulai naik dengan nilai $dI_{L1}/dt = 2V_0/3L$. L_2 dan L_3 mengalami *discharge* pada rangkaian keluaran. Nilai I_{L2} , I_{L3} , is dapat didekati dengan persamaan $dI_{L2}/dt = dI_{L3}/dt = (V_j - V_0)/L$.



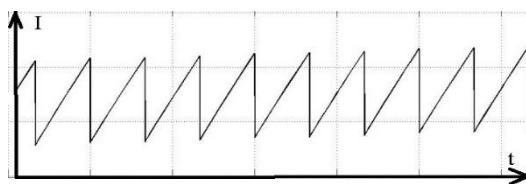
Gambar 3. Stage (t_0-t_1)

b. Stage b:

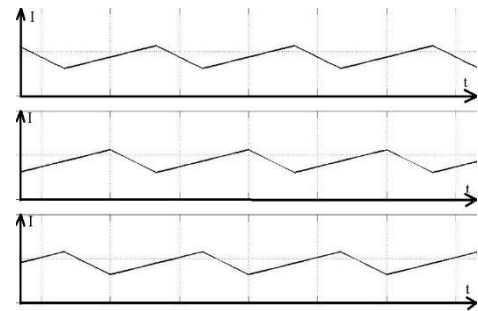
Pada waktu t_1 , S_1 , S_2 , dan S_3 terbuka. L_1 , L_2 , and L_3 *discharge* pada rangkaian keluaran. Nilai I_{L2} , I_{L3} is $dI_{L1}/dt = dI_{L2}/dt = dI_{L3}/dt = (V_j - V_0)/L$.



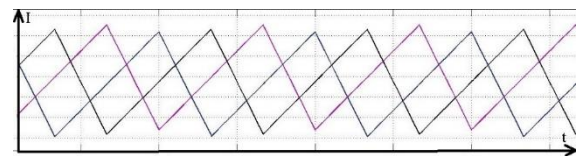
Gambar 4. Stage (t_1-t_2)



(a) Sumber arus



(b) Sinyal arus L_1 , L_2 , dan L_3



(c) Sinyal gabungan arus dari L_1, L_2 , dan L_3

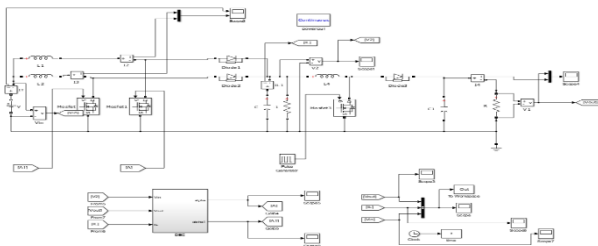
Gambar 5. Gelombang arus dari converter mode CCM

Setelah beroperasi, boost converter menghasilkan output dengan tegangan yang lebih besar dari tegangan input, kemudian tegangan output melewati rangkaian yang disebut koneksi *cascade*. Rangkaian ini berfungsi untuk mengubah tegangan output konverter boost menjadi tegangan yang lebih tinggi. Sehingga output dari *cascade interleaved boost converter* menggunakan kendali DEC cocok dengan tegangan referensi meskipun tegangan input rendah. Jika frekuensi *switching* ditingkatkan sehingga digunakan induktansi yang lebih kecil, sehingga sistem akan lebih mudah untuk mengkompensasi dan tegangan keluaran lebih stabil.

IV. PERANCANGAN CASCADE INTERLEAVED BOOST CONVERTER MENGGUNAKAN DEC

Simulasi sistem dilakukan melalui perangkat lunak MATLAB / Simulink. Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem.

Model Simulink dari cascade interleaved boost converter menggunakan DEC ditunjukkan pada Gambar 6. Konverter ini memiliki tiga sel interleaved yang menggunakan 1200 phase shift. Parameter cascade interleaved boost converter menggunakan DEC tercantum pada Tabel 1.



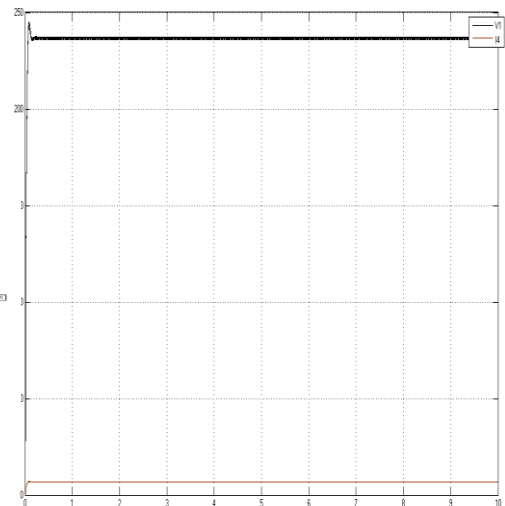
Gambar 6. Model rangkaian cascade interleaved boost converter menggunakan DEC

Tabel 1. Parameter dari cascade interleaved boost converter menggunakan DEC

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tegangan Input	V_{in}	40	V
Kapasitor	C	10000	μF
Induktor	L	10	mH
Resistor	R	10	Ω
Tegangan Output	V_{out}	236,5	V
Switching Frekuensi	f	25	kHz

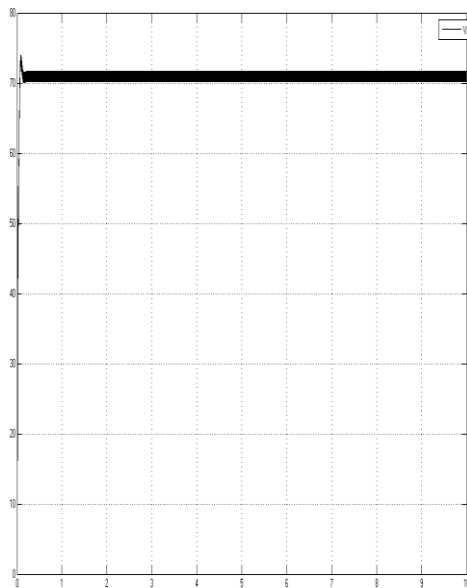
V. HASIL DAN DISKUSI

Model simulasi pada penelitian ini dibuat dengan platform MATLAB/SIMULINK. Simulasi dilakukan dengan memverifikasi kinerja dari system boost converter. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan tegangan output sebesar 236,5 Volt dengan tegangan input 40 Volt serta arus keluaran yang dihasilkan adalah 6,75 Ampere. Sinyal keluaran dari cascade interleaved boost converter menggunakan DEC ditunjukkan pada Gambar 7 berikut



Gambar 7. Sinyal keluaran cascade interleaved boost converter menggunakan DEC

Sebelum melalui rangkaian cascade, tegangan keluaran konverter adalah 71 volt yang ditunjukkan pada Gambar 8 berikut



Gambar 8. Tegangan keluaran converter tanpa rangkaian cascade

Dari penelitian yang telah dilakukan, cascade interleaved boost converter menggunakan DEC dapat beroperasi dengan baik. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh converter sesuai dengan yang diinginkan dengan menggunakan tegangan referensi 150 dan nilai k sebesar 0,01,

VI. KESIMPULAN

Dalam tulisan ini, cascade interleaved converter menggunakan DEC disimulasikan dan telah berhasil diuji pada MATLAB SIMULINK. Rangkaian yang diteliti dibandingkan dengan converter konvensional. Koverter ini mampu menaikkan tegangan output yang nilainya lebih tinggi dari tegangan output pada converter konvensional. DEC adalah kendali yang digunakan pada rangkaian ini yang berguna untuk meningkatkan efisiensi dari converter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Veerachary, M. *Design and Analysis of a New Quadratic Boost Converter*. National Power Electronics Conference (NPEC), IEEE. India. Dec 18-20, 2017. Pp 307-313
- [2] Ortiz-Lopez, Ma. Guadalupe, Leyva-Ramos, J. *Multiloop Controller for N-Stage Cascade Boost Converter*. 16th IEEE International Conference on Control Applications. Singapore, 1-3 October 2007. Pp 587-592
- [3] M. S. Elmore, "Input current ripple cancellation in synchronized, parallel connected critically continuous boost converters", in proc. IEEE APEC'96, vol. I, San Jose, CA, Mar. 1996, pp. 152-158.
- [4] J. S. Lai and D. Chen, "Design consideration for power factor correction boost converter operating at the boundary of continuous conduction mode and discontinuous conduction mode", in Proc. IEEE APEC'93, San Diego, CA, Mar. 1993, pp. 267-273.
- [5] Samosir, A.S., Yatim, A.H.M. *Dynamic Evolution Control for Synchronous Buck DC – DC Converter : Theory, Model and Simulation*. Simulation Modelling Practice and Theory. Volume: 18. Issue Number: 5. 2010. Halaman 663-676.
- [6] Sutriharjo, Habib. 2017. *Rancang Bangun Inverter Full Bridge Satu Fasa Menggunakan Dynamic Evolution Control*. Universitas Lampung.
- [7] Samosir, A.S., Sutikno T., Yatim, A.H.M. 2011. *Dynamic*

- Evolution Control for fuel cell DC – DC Converter.* TELKOMNIKA, Vol. 9, No. 1. Halaman 183-190.
- [8] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. *IEEE Std 519-1992 : IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System.* 1993. <http://www.scribd.com>.
- [9] Samosir, A.S, Anwari, Makbul, Yatim, A.H.M. *Dynamic Evolution Control of Interleaved Boost DC-DC Converter for Fuel Cell Application.* 2010. IEEE. Pp 869-874